

51

Int. Cl. 2:

H 01 J 1/08

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



DE 26 52 506 A 1

11

Offenlegungsschrift 26 52 506

21

Aktenzeichen: P 26 52 506.4

22

Anmeldetag: 18. 11. 76

43

Offenlegungstag: 24. 5. 78

31

Unionspriorität:

32 33 31

54

Bezeichnung: Elektrische Hochstromvorrichtungen

71

Anmelder: Gec-Elliott Automation Ltd., London

74

Vertreter: Reichel, W., Dr.-Ing.; Reichel, W., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte,
6000 Frankfurt

72

Erfinder: Walkden, Anthony John, Carpenders Park, Hertfordshire;
Hammond, Royston Alfred, Rugby, Warwickshire;
Levy, David Frank, Watford, Hertfordshire;
Kowalczyk, Marian Roman, Rugby, Warwickshire (Großbritannien)

DE 26 52 506 A 1

Patentansprüche

=====

1.

Elektrische Kontaktvorrichtung mit wenigstens zwei elektrisch leitenden Kontakten, deren einander zugeordnete Kontaktflächen von wesentlicher Ausdehnung in elektrische Verbindung für den Durchgang von Strömen hoher Stärke zu bringen oder in dieser zu halten sind, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß wenigstens einer der Kontakte einen Feststoffleiter (1, 12, 36, 138) mit ständig von einem Überzug von flüssigem Gallium oder einer flüssigen Legierung desselben benetzter Kontaktfläche aufweist.

2.

Kontaktvorrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß beide Kontakte Feststoffleiter (1, 5; 10, 12; 125, 138) sind, deren zusammenwirkende Kontaktflächen je ständig mit flüssigem Gallium oder einer flüssigen Legierung desselben benetzt sind.

3.

Kontaktvorrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß einer der Kontakte (37, 109) einen Pfuhl bzw. ein kleines Volumen von flüssigem Gallium oder einer flüssigen Legierung desselben aufweist.

4.

Kontaktvorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die flüssige Legierung aus mit Gallium legiertem Indium und/oder Zinn und/oder Zink besteht.

5. Elektrischer Hochstromschalter,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß eine elektrische Verbindung zwischen im Abstand
angeordneten Kontaktflächen zweier Feststoffleiter
(104, 107; 125, 132), wenigstens beim Öffnen und
Schließen des Schalters, durch Überbrücken des Spalts
zwischen ihnen mit flüssigem Metall zu bewirken ist
und der Stromweg im Schalter coaxial und symmetrisch
in Bezug auf den Spalt angeordnet ist, derart, daß
keine wesentlich unsymmetrischen Magnetfelder im Bereich
des Spalts durch den Stromdurchgang längs dieses Strom-
wegs erzeugt werden.
6. Schalter nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Kontaktflächen ständig mit einem Überzug des
flüssigen Metalls benetzt sind.
7. Schalter nach Anspruch 5 oder 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das flüssige Metall flüssiges Gallium oder eine
flüssige Legierung desselben enthält.
8. Schalter nach Anspruch 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das flüssige Metall eine flüssige Legierung von
Gallium mit Indium und/oder Zinn und/oder Zink
enthält.
9. Schalter nach einem der Ansprüche 5 bis 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der durch die beiden Leiter gebildete Stromweg einen

senkrecht angeordneten äußeren Leiterteil (106, 132),
der einen zweiten zentralen inneren Leiterteil (104,
125) konzentrisch in radialem Abstand umgibt, aufweist.

10. Schalter nach Anspruch 9,
 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
 daß der Kontaktpalt durch den radialen Raum zwischen
 dem inneren und dem äußeren Leiterteil gebildet wird.
11. Schalter nach Anspruch 5, 6 oder 7,
 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
 daß der Kontaktpalt (115) sich axial zwischen den
 Kontaktflächen (104, 107) erstreckt, derart, daß beim
 Betrieb des Schalters in dem Kontaktpalt befindliches
 flüssiges Metall darin durch eine symmetrische elektro-
 mechanische Kraft, die vom hindurchfließenden Strom
 erzeugt wird, stabilisiert wird.
12. Schalter nach Anspruch 11,
 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
 daß Vorlauf- und Rücklaufabschnitte des Stromwegs
 von den beiden Leitern gebildet werden, von denen
 einer einen äußeren Wandungsteil (106) aufweist, der
 den axialen Kontaktpalt (115) konzentrisch umgibt
 und so angeordnet ist, daß beim Betrieb des Schalters
 ein Stromfluß durch den Wandungsteil (106) in einer
 seiner Durchgangsrichtung durch das flüssige Metall
 im Kontaktpalt (115) im wesentlichen entgegengesetzten
 Richtung erfolgt.

13. Schalter nach einem der Ansprüche 5 bis 12,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß ein Behälter (108) zur Aufnahme eines Pfuhls bzw.
kleinen Volumens (109) des flüssigen Metalls und ein
in den Behälter (108) eintauchbarer Tauchkolben (117)
zur Verdrängung des flüssigen Metalls in den Kontakt-
spalt (115) hinein vorgesehen sind.
14. Schalter nach Anspruch 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der Behälter Ringform besitzt und zwischen einem
umgebenden äußeren Wandungsteil (106) eines der Leiter
und einem koaxial aufragenden zentralen Kontaktteil
(107) des anderen Leiters liegt und ein der Betätigung
dienender ringförmiger Tauchkolben (117) in den Behälter
(108) zwecks Verdrängens des flüssigen Metalls in den
Kontaktspalt (115) hinein absenkbar ist.
15. Schalter nach einem der Ansprüche 5 bis 14,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß Magnetfluß-Abschirmungen (116) im Betrieb den
Kontaktspalt (115) umgeben, derart, daß sie das darin
befindliche stromführende flüssige Metall gegen
magnetische Streuflüsse abschirmen.
16. Schalter nach Anspruch 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Abschirmung (116) in eine und aus einer Arbeits-
stellung, in der sie den Kontaktspalt (115) umgibt,
bewegbar ist.

17. Schalter nach Anspruch 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Abschirmung (116) mit einer Betätigungsein-
richtung (117) für den Schalter, die das flüssige
Metall (109) in den Kontaktspace (115) hinein zu
verdrängen vermag, gekoppelt ist, derart, daß die
Abschirmung (116) in ihre und aus ihrer Arbeits-
stellung beim Schließen bzw. Öffnen des Schalters durch
die Betätigungseinrichtung (117) bewegt zu werden
vermag.
18. Schalter nach Anspruch 17,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der Tauchkolben (117) eine Magnetfeldabschirmung
(116), die den Kontaktspace (115) beim Überbrücken
durch das flüssige Metall umgibt und dieses so gegen
magnetische Streuflüsse abschirmt, enthält.
19. Schalter nach einem der Ansprüche 5 bis 12,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß ein Behälter (135) für die Aufnahme eines Pfuhls
bzw. kleinen Volumens (133) von flüssigem Metall
relativ zu den Leitern (125, 132) unter Verdrängen des
flüssigen Metalls in den Kontaktspace (134) hinein
bewegbar ist.
20. Schalter nach Anspruch 19,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der Behälter (135) um einen der Leiter (132)
herum mittels eines biegsamen Balgens (136), der eine
Relativbewegung zwischen dem Behälter und den Leitern
zuläßt, hermetisch abgedichtet ist.

809821/0177

21. Schalter nach Anspruch 20,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß einer der beiden Leiter aus zwei Teilen, einem
feststehenden äußeren Wandungsteil (132) und einem
beweglichen Kontaktteil (138) besteht, die beide
zusammen mittels des Balgens (136) abgedichtet sind,
und der bewegliche Kontaktteil (138) in den Behälter
(135) eintaucht und mit dem festen äußeren Wandungs-
teil (132) durch das flüssige Metall im Behälter ver-
bunden ist, derart, daß die Kontaktgabe zwischen den
beiden Leitern (125, 132) anfangs durch flüssiges
Metall unter Bewegen des Behälters und endgültig durch
feste Berührung zwischen dem beweglichen Kontaktteil
(138) und dem festen Kontakt (125) hergestellt wird.
22. Schalter nach Anspruch 21,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der bewegliche Kontaktteil (138) in fester Be-
rührung mit dem feststehenden äußeren Wandungsteil
(132) steht, sobald die Berührung zwischen dem beweg-
lichen Kontaktteil (138) und dem festen Kontakt (125)
erfolgt.
23. Schalter nach Anspruch 21 oder 22,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die beiden Leiter (125, 132) an stromführende
Platten (128, 131) unter Einschluß eines Überzugs
von flüssigem Metall angeklemmt sind.
24. Schalter nach Anspruch 20,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß einer der beiden Leiter aus zwei Teilen, einem
feststehenden äußeren Wandungsteil (132) und einem
beweglichen Kontaktteil (138) besteht, die beide
mittels des Balgens (136) unter Bildung eines Be-

hälters (135) für das flüssige Metall zwischen ihnen abgedichtet sind, und der bewegliche Kontakt (138) mit dem festen äußeren Wandungsteil (132) elektrisch durch das flüssige Metall in dem Behälter verbunden ist, derart, daß die Verbindung zwischen den beiden Leitern durch das flüssige Metall hergestellt zu werden vermag, sobald dieses durch Bewegen des beweglichen Kontaktteils (138) in physikalische und elektrische Berührung mit dem festen äußeren Wandungsteil (132) verdrängt wird.

25. Automatische elektrische Ausschaltvorrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß eine elektrische Verbindung zwischen im Abstand angeordneten Kontaktflächen zweier elektrischer Leiter (145, 148) durch Überbrücken des Spalts zwischen ihnen mit flüssigem Metall (147) längs eines solchen Stromwegs hergestellt zu werden vermag, das beim Durchgang von Strömen über einer vorbestimmten Stromstärke erzeugte elektromechanische Kräfte das flüssige Metall aus dem Spalt verdrängen und so den elektrischen Kontakt zwischen den beiden Leitern unterbrechen.

26. Ausschalter nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß das flüssige Metall bei normalen Stromverhältnissen in dem Spalt durch eine Oberflächenspannung zurückgehalten zu werden vermag, die bei Strömen, deren Stärke einen vorbestimmten Wert überschreitet, dazu nicht mehr ausreicht.

ReNeu/Pi.

809821/0177

COPY

Patentanwälte
Dr.-Ing. Wilhelm Reichel
Dipl.-Ing. Wolfgang Reichel
6 Frankfurt a. M. 1
Parkstraße 13

8626

=====

GEC-ELLIOTT AUTOMATION LIMITED, London W1A 1EH, England
=====

Elektrische Hochstromvorrichtungen
=====

Die Erfindung bezieht sich auf elektrische Hochstromvorrichtungen, bei denen ein flüssiges Metall entweder vorübergehend oder ständig beim Schalten oder Aufrechterhalten eines Stromwegs über elektrische Kontakte verwendet wird.

Somit betrifft die Erfindung nicht nur elektrische Schalter, sondern auch Vorrichtungen, die feststehende oder relativ bewegliche Kontakte enthalten, deren zusammenwirkende Flächen ständig in elektrischer Berührung gehalten werden.

Die Erfindung bezweckt in erster Linie die Schaffung elektrischer Kontaktvorrichtungen der vorbeschriebenen Art, die einen herabgesetzten Kontaktwiderstand bieten.

Gegenstand der Erfindung ist eine elektrische Kontaktvorrichtung mit wenigstens zwei elektrisch leitenden Kontakten, deren zusammenwirkende Kontaktflächen von wesentlicher Ausdehnung zwecks Durchgang eines Stromes von hoher Stärke in elektrische

Berührung gebracht oder in dieser gehalten werden. Eine derartige Kontaktvorrichtung ist nach einem Grundgedanken der Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer der elektrischen Kontakte ein Feststoff- bzw. fester Leiter mit ständig von einem Überzug von flüssigem Gallium oder einer Legierung desselben benetzter Kontaktfläche ist.

Geeignete flüssige Legierungen sind solche, die flüssiges Gallium mit einem oder mehreren anderen Metallen enthalten, welche im wesentlichen inert in der angrenzenden Atmosphäre sind, wobei diese Legierung bei der umgebenden, das heißt angrenzenden Temperatur der Kontakteinrichtung flüssig ist oder einen ausreichend niedrigen Schmelzpunkt besitzt, um bei Stromdurchgang durch die Kontakteinrichtung flüssig zu werden. Als solche weiteren Metalle werden u.a. Indium, Zinn und Zink bevorzugt.

Die elektrischen Kontakte können beide Feststoffleiter sein, wobei in diesem Fall die zusammenwirkenden Kontaktflächen derselben vorzugsweise jede mit flüssigem Gallium oder einer flüssigen Legierung desselben ständig benetzt sind.

Stattdessen kann einer der Kontakte von einem Pfuhl, das heißt einem kleinen Volumen des Galliums oder dessen Legierung gebildet werden.

Die Kontaktvorrichtungen der Erfindung beheben eine Reihe von Nachteilen bekannter, mit Quecksilber benetzter Kontaktflächen, die wegen der giftigen Natur des Quecksilbers, seines verhältnismäßig hohen Dampfdruckes zusammen mit der Eigenschaft seines Oxyds, nicht leitfähig zu sein sowie gewisse Metalle wie Kupfer nicht zu benetzen, nur in geschlossenen Räumen benutzt werden können, die gegen die Außenluft abgedichtet sind, um Oxydation und Verdampfung des Quecksilbers zu verhindern.

Demgegenüber ist Gallium nicht giftig und hat einen vergleichsweise niedrigen Dampfdruck, zudem benetzt es metallisch viele Metalle unter Bildung einer Oberflächenlegierung; auch mischt sich Galliumoxyd leicht mit dem Metall unter Bildung eines leitenden Stoffs, der zum Beispiel an Kupferkontaktflächen haftet und die Oberfläche des flüssigen Metalls passiviert. Aus diesen Gründen kann es bei Kontakteinrichtungen verwendet werden, die der Atmosphäre ausgesetzt sind, und es besitzt den weiteren Vorteil, daß es zum Benetzen von Kontaktflächen vorhandener Schalter und elektrischer Verbinder verwendet werden kann.

Es ist bekannt, daß eine elektromechanische Kraft auf einen stromführenden Leiter ausgeübt wird, wenn ein magnetisches Feld senkrecht zur Richtung des Stroms auf den Leiter einwirkt. Die Richtung dieser Kraft ist senkrecht zur Richtung sowohl des Stroms als auch des Magnetfelds gerichtet, und wenn der Leiter ein flüssiges Metall ist, übt diese Kraft eine Pumpwirkung auf das flüssige Metall in der Kraftrichtung aus.

Im Fall von elektrischen Hochstromvorrichtungen derjenigen Art, bei der die elektrische Verbindung zwischen im Abstand angeordneten Kontaktflächen zweier Leiter bewirkt wird durch Überbrücken des Spalts zwischen ihnen mit flüssigem Metall, ist das magnetische Feld, das die den Strom zu bzw. von den Kontakten hin- und wegführenden Leiter erzeugen, beträchtlich und die dabei auf das flüssige Metall ausgeübte elektromechanische Kraft kann in einer solchen Richtung wirken, daß das flüssige Metall aus dem Spalt zwischen den Kontaktflächen ausgetrieben wird. Dies erfordert häufig eine ansehnliche hydrostatische Druckhöhe des Flüssigmetalls, um die elektromechanische Kraft auszugleichen und eine Kontaktbrücke aufrechtzuerhalten. Manchmal wird ein ständiger Wirbel- bzw. Rühreffekt hervorge-

rufen und ergeben sich zusätzliche Leistungsverluste.

Dies ist nachteilig bei elektrischen Schaltvorrichtungen dieser Art, da es die Verdrängung einer beträchtlichen Menge von Flüssigmetall für das Kontaktschließen und -unterbrechen erfordert und ein allgemein unbeständiges Arbeiten zur Folge hat.

Die Erfindung will diese Nachteile durch besondere Ausbildung eines Hochstromschalters beseitigen oder zumindest wesentlich herabsetzen.

Zu diesem Zweck ist in weiterer Ausgestaltung der Erfindung ein elektrischer Hochstromschalter vorgesehen, der sich dadurch auszeichnet, daß eine elektrische Verbindung zwischen im Abstand angeordneten Kontaktflächen zweier Feststoffleiter, wenigstens beim Öffnen und Schließen des Schalters, durch Überbrücken des Spalts zwischen ihnen mit flüssigem Metall bewirkt wird und der Stromweg im Schalter coaxial und symmetrisch in Bezug auf den Spalt angeordnet ist, derart, daß keine wesentlich unsymmetrischen magnetischen Felder im Bereich des Spalts beim Stromdurchgang längs dieses Stromwegs erzeugt werden.

Vorzugsweise sind diese Kontaktflächen ständig mit einem Überzug von flüssigem Metall, zum Beispiel flüssigem Gallium oder einer flüssigen Legierung desselben, etwa mit Indium und/oder Zinn und/oder Zink benetzt.

Der von den beiden Leitern gebildete Stromweg kann einen senkrecht angeordneten äußeren Leiterteil aufweisen, der einen zentralen inneren Leiterteil konzentrisch in radialem Abstand umgibt, wobei der erwähnte Kontaktspace vorzugsweise durch den radialen Raum zwischen den inneren und äußeren Leiterteilen gebildet wird.

Das flüssige Metall kann für den Gebrauch des Schalters in dem Kontaktpalt mechanisch eingeschlossen sein, um zu verhindern, daß es durch elektromechanische Kräfte ausgetrieben wird, die von durch den Schalter fließenden Strömen erzeugt werden.

Stattdessen kann der Kontaktpalt sich axial zwischen den Kontaktflächen erstrecken, so daß beim Betrieb des Schalters in dem Kontaktpalt befindliches flüssiges Metall darin durch eine symmetrische elektromechanische Kraft stabilisiert wird, die vom hindurchfließenden Strom erzeugt wird.

In diesem Fall können Vorlauf- und Rücklaufabschnitte des Stromwegs von den beiden Leitern gebildet werden, von denen der eine einen Wandungsteil aufweist, der den axialen Kontaktpalt konzentrisch umgibt und so angeordnet ist, daß beim Betrieb des Schalters ein Stromfluß durch diese Wandung in einer Richtung erfolgt, die seiner Durchgangsrichtung durch das flüssige Metall im Kontaktpalt im wesentlichen entgegengesetzt ist.

- Vorzugsweise ist der Schalter mit Magnetfluß-Schirmgliedern versehen, die so angeordnet sind, daß sie im Betrieb den Kontaktpalt umgeben, um das darin befindliche stromführende flüssige Metall gegen magnetische Streuflüsse abzuschirmen.

Die Magnetfluß-Abschirmung kann in die und aus der Arbeitsstellung bewegbar sein, in der sie den Kontaktpalt umgibt, wobei sie zweckmäßig mit Betätigungseinrichtungen für den Schalter gekoppelt ist, die das flüssige Metall in den Spalt hinein zu verdrängen vermögen, wobei die Anordnung so getroffen ist, daß die Magnetfluß-Abschirmung in ihre und aus ihrer Arbeitsstellung bewegt wird, wenn die Betätigungseinrichtung den Schalter schließt bzw. öffnet.

Der Schalter kann zum Beispiel mittels eines Tauchkolbens betätigt werden, der in den Behälter eintauchbar ist, um das flüssige Metall in den Kontaktspalt hinein zu verdrängen.

Stattdessen kann der Schalter durch Bewegen eines Behälters zur Aufnahme eines Pfuhls bzw. kleinen Volumens von Flüssigmetall relativ zu den Leitern betätigt werden, um das flüssige Metall in den Kontaktspalt zu verdrängen. Der Behälter kann dann hermetisch um einen der Leiter herum mittels eines biegsamen Balgens abgedichtet werden, der eine Relativbewegung zwischen dem Behälter und den Leitern zuläßt.

Einer der beiden Leiter kann aus zwei Teilen bestehen, einem feststehenden äußeren Wandungsteil und einem beweglichen Kontaktteil, die beide zusammen mittels des erwähnten Balgens abgedichtet sind, wobei der bewegliche Kontaktteil in den Behälter eintaucht und mit dem festen äußeren Wandungsteil durch das flüssige Metall im Behälter verbunden ist und wobei der Kontakt zwischen den beiden Leitern anfangs durch flüssiges Metall unter Anheben des Behälters und schließlich durch feste Berührung zwischen dem beweglichen Kontaktteil und dem feststehenden Kontakt hergestellt wird.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird bei einer automatischen elektrischen Ausschaltvorrichtung die elektrische Verbindung zwischen im Abstand angeordneten Kontaktflächen zweier elektrischer Leiter durch Überbrücken des Spalts zwischen ihnen mit flüssigem Metall hergestellt, wobei der Stromweg durch die Vorrichtung so relativ zu einem zwischen den Kontaktflächen gebildeten Kontaktspalt angeordnet ist, daß elektromechanische Kräfte, die durch hindurchfließende Ströme, welche einen vorbestimmten Wert überschreiten, erzeugt werden, das flüssige Metall aus dem Spalt verdrängen und so den elektrischen Kontakt zwischen den beiden Leitern unterbrechen.

Nachstehend ist die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnungen näher beschrieben; in diesen zeigen schematisch

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines elektrischen Schalters nach der Erfindung;
- Fig. 2 eine geschnittene Seitenansicht eines elektrischen Verbinders nach der Erfindung;
- Fig. 3 eine geschnittene Seitenansicht eines zweiten Schalters nach der Erfindung;
- Fig. 4 eine geschnittene Seitenansicht eines dritten Schalters nach der Erfindung;
- Fig. 5 eine geschnittene Seitenansicht eines vierten Schalters nach der Erfindung;
- Fig. 6 eine geschnittene Seitenansicht einer automatischen Ausschaltvorrichtung nach der Erfindung.

Gemäß Fig. 1 weist der Starkstromschalter zwei identische Kontakte 1 und 2 in Form von parallel im Abstand angeordneten Leiterstäben aus Kupfer mit sich gegenüberliegenden abge-schrägten Kontaktflächen 3 und 4 sowie eine halbzyklindrische Kontaktbrücke 5 aus Kupfer auf, deren gebogene Fläche 6 so angeordnet ist, daß sie im Betrieb an den Flächen 3 und 4 anliegt, um eine elektrische Verbindung zwischen den Kontakten 1 und 2 herzustellen.

Gemäß einem Hauptmerkmal der Erfindung werden die Flächen 3, 4 der Kontakte 1, 2 und die gekrümmte Fläche 6 der Kontaktbrücke 5 in den in Betracht kommenden Bereichen mit flüssigem Gallium oder einer geeigneten flüssigen Legierung desselben angefeuchtet bzw. benetzt, zum Beispiel mit Gallium-Indium (Ga In) mit einem Gehalt von 23% Indium und 77% Gallium, das eine Schmelztemperatur von $15,7^{\circ}\text{C}$ besitzt.

Das Benetzen der Kontaktflächen kann dadurch bewirkt werden, daß die betreffenden Flächenbereiche mit einer - zum Beispiel 50%igen - Lösung von Chlorwasserstoffsäure zur Entfernung des Oberflächenoxyds gewaschen werden, oder daß das flüssige Metall zum Beispiel mit einer Glasfaserbürste auf die Kontaktfläche aufgebürstet wird, während die Säure dort noch vorhanden ist, bis ein Überschuß an flüssigem Metall abtropft. Die Säurelösung wird dann von der Fläche entfernt und es bildet sich auf der Flüssigmetall-Oberfläche ein Oxydüberzug, der ihrer Passivierung dient.

Untersuchungen, bei denen die Kontakt- bzw. Übergangswiderstände von drei Zellschaltern der dargestellten Art, die parallel in einem Gleichstromkreis lagen, vor und nach dem Benetzen mit Gallium-Indium-Legierung ermittelt wurden, haben gezeigt, daß durch Benetzen mit Ga-In der Kontaktwiderstand dieser Art von Schalter um einen Zehnerfaktor herabgesetzt wird. Mit Schaltern, die ebene Kupferkontaktflächen besitzen, wurden Untersuchungen angestellt und Messungen des Spannungsabfalls an den Kontaktpunkten A, B an einer Seite jedes Schaltsegments von der Breite $Z = 25 \text{ mm}$ vorgenommen. Hierbei ergab sich, daß keine bedeutende Änderung im Kontaktwiderstand der benetzten Kontaktflächen eintrat, selbst nach einer beträchtlichen Anzahl von Schaltvorgängen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß selbst

obwohl eine gewisse Menge Galliumoxyd bei jedem Schaltvorgang wegen der Bewegung des flüssigen Metalls gebildet wird, dieses Oxyd sich leicht mit dem flüssigen Metall mischt, um nach einer beträchtlichen Anzahl von Schaltvorgängen eine elektrisch leitende Paste zu bilden, die an den Kontaktflächen haftet.

Fig. 2 zeigt eine zweite Ausführungsform der Erfindung in ihrer Anwendung auf elektrische Kontaktvorrichtungen, die relativ bewegliche Kontaktflächen haben. Bei dieser Anwendung sind Kupferkontaktplatten 10, 11 getrennt an relativ beweglichen Organen angebracht, wobei die beiden Platten durch eine elektrisch leitende Kupferwalze 12 elektrisch verbunden werden, die ein Hohlrohr sein kann, jedoch hier als massiver Zylinder dargestellt ist. Erfindungsgemäß wird der Kontaktwiderstand zwischen den Gliedern 10, 11, 12 dadurch herabgesetzt, daß die betreffenden Flächenbereiche mit Gallium-Indium-Legierung von zum Beispiel 77% Gallium- und 23% Indium-Gehalt benetzt werden.

Fig. 3 zeigt eine weitere Schalterausführung nach der Erfindung, die im Abstand angeordnete Kontakte in Form von Leiterstäben 31, 32 aus Kupfer, von denen jeder mit einer rechteckigen Nut 34 bzw. 35 versehen ist, sowie eine U-förmige Kontaktbrücke 36 aufweist, deren beide Schenkel so angeordnet sind, daß sie in die betreffende Nut 34 bzw. 35 der Kontakte 31, 32 eindringen, um eine elektrische Verbindung zwischen diesen herzustellen.

Jede Nut 34, 35 enthält eine kleine Schicht 37 von flüssigem Metall, zum Beispiel Gallium-Indium, wobei die Anordnung so getroffen ist, daß beim Abwärtsbewegen der Kontaktbrücke in die Nuten 34, 35 eine elektrische Verbindung zwischen den Kontakten 31, 32 hergestellt wird, indem das flüssige Metall in die Räume zwischen den Schenkeln der Kontaktbrücke 36 und den Innenwänden der Nuten 34, 35 hochgedrückt wird, unter Vergrößerung der wirksamen Kontaktfläche, wobei die entsprechenden Flächen

der Schenkel und Nutenwände ständig mit Flüssigmetall benetzt sind, um den konstanten Widerstand herabzusetzen, wie dies dem Grundgedanken der Erfindung entspricht.

Um den oberen Rand jeder Nut 34, 35 herum ist eine Gleitdichtung aus "Viton" oder Silikon-Gummi 38 vorgesehen, um überschüssiges Flüssigmetall von den Schenkeln der Kontaktbrücke beim Unterbrechen zu entfernen, und unmittelbar unterhalb der Dichtungen 38 kann eine Aussparung 39 um jede Nut herum ausgebildet sein, um ein Überbrücken des Spalts zwischen den Wänden der Nuten und der Kontaktbrücke durch flüssiges Metall unmöglich zu machen, wenn der Schalter sich in der gezeigten offenen Stellung befindet.

Die Erfindung umfaßt außerdem elektrische Hochstromschalter, bei denen die elektrische Verbindung zwischen zwei im Abstand angeordneten Kontakten wenigstens zum Teil durch die Verdrängung von flüssigem Metall, zum Beispiel flüssigem Gallium, Gallium-Indium-Legierung oder Quecksilber in den Spalt zwischen ihnen hergestellt wird.

Wie oben erläutert, können die magnetischen Felder, die bei diesen Schaltern durch die hindurchfließenden hohen Ströme erzeugt werden, Bewegungen im Flüssigmetall hervorrufen, die zu instabiler Arbeitsweise und Stromverlusten führen. Um die schädlichen Wirkungen dieser Ströme hintanzuhalten, dienen zwei weitere Schalterarten nach der Erfindung, die nachstehend anhand von Fig. 4 und 5 beschrieben sind.

Der in Fig. 4 dargestellte Schalter weist obere und untere massive Leiter 101, 102, beispielsweise aus Kupfer auf, von denen der obere Leiter ein Kreisscheibenteil 103 mit abwärts ragendem gleichachsigem zylindrischem Kontaktteil 104 darstellt,

während die untere Leiter 102 einen äußeren Hohlzylinderteil 106 mit geschlossenem Boden aufweist, von dem ein konzentrischer Vollzylinderteil 107 emporragt, der mit dem Hohlzylinderteil 106 einen ringförmigen Behälter 108 zur Aufnahme einer Füllung von flüssigem Metall, zum Beispiel Gallium-Indium, bildet.

Die beiden Leiter sind durch einen ringförmigen Isolierkragen 110 in senkrechtem Abstand gehalten und durch eine Anzahl im Kreise versetzter Spannbolzen 111 fest verbunden, die isolierte Bohrungen im Scheibenteil 103 durchdringen und in Sacklöcher 113 in einem Ringflansch 114 geschraubt sind, der sich vom oberen Rand des Hohlzylinderteils 106 des unteren Leiters 102 nach außen erstreckt. Der Kontaktteil 104 des oberen Leiters 101 ragt abwärts in den hohlzylindrischen Teil 106, ist jedoch vom vollzylindrischen Kontaktteil 107 um einen Spalt 115 entfernt.

Ein der Betätigung dienender ringförmiger Tauchkolben 117 aus Isoliermaterial ist axial in einem Ringraum beweglich, der die oberen und unteren Kontaktteile 104 und 107 umgibt, wobei er in die Füllung 109 an flüssigem Gallium-Indium eingetaucht oder aus dieser herausgezogen wird. Der Tauchkolben wird an vier senkrechten Stellstäben 118 gehalten (von denen nur zwei gezeigt sind), die in mit Lagermaterial ausgekleideten Bohrungen 119 des Scheibenteils 103 gleiten und mit einem pneumatischen Antriebszylinder 120 mittels einer gemeinsamen Tragscheibe 121 gekoppelt sind.

Biegsame Dichtungsbälge 122 aus korrosionsfestem Material wie Nitril oder Silikon-Gummi, rostfreiem Stahl oder Titan sind um jede Stellstange 118 herum vorgesehen, um das Innere des Schalters gegenüber seiner Umgebung abzudichten und ein inertes Schutzgas in dem Schalter einzuschließen, falls eine Zerstörung des flüssigen Metalls verhindert werden soll.

Der Schalter ist in seinem offenen Zustand gezeigt, in dem der Tauchkolben 117 über dem Spiegel des flüssigen Metalls gehalten wird, das die obere Kontaktfläche des unteren Kontaktteils 107 soeben bedeckt. Für die Kontaktgabe wird durch den pneumatischen Zylinder 120 der Tauchkolben 117 nach unten in den Behälter gestoßen, wie in der Zeichnung punktiert angegeben, den er im wesentlichen ausfüllt und dabei das flüssige Metall auf den Spiegel anhebt, der strich-punktiert angedeutet ist, wodurch der Spalt 115 leitend überbrückt wird.

Den Stromverlauf durch den Schalter hindurch zeigen die Pfeile an. Der Strom tritt in den Schalter radial einwärts durch den Scheibenteil 103 des oberen Leiters 101 ein, fließt axial abwärts durch die Kontaktteile 104, 107 über den vom Gallium-Indium überbrückten Spalt 115 und strömt längs des äußeren zylindrischen Teils 106 des unteren Leiters 102, um aus dem Schalter radial auswärts durch den Ringflansch 114 auszutreten. Somit wirkt die flüssige Metallfüllung als Kathode des Schalters. Dies ist von gewisser Bedeutung, da die Bogenenergie bei einem Unterbrechungsvorgang zu einem großen Teil in der Kathode verbraucht wird, die daher vorzugsweise von dem flüssigen statt dem festen Kontakt gebildet wird.

Weil der Schalter völlig symmetrisch in Bezug auf die Achse ist, übt das magnetische Feld, das durch den Stromdurchgang durch den Schalter hervorgerufen wird, eine elektromechanische Kraft auf das flüssige Metall in dem Spalt aus. Diese Kraft wird erzeugt beim Stromfluß durch den zentralen zylindrischen Teil und wirkt radial einwärts auf das flüssige Metall in dem Spalt, ohne Rücksicht auf die Stromrichtung, wobei es das flüssige Metall zu stabilisieren und darin festzuhalten sucht. Dies ist allgemein als "Pinch-Effekt" bekannt, gemäß welchem ein stromführender Leiter eine radiale Striktion erfährt. Dies ist bei der vorliegenden Erfindung besonders bedeutsam, weil hier

Ströme in der Größenordnung von Zehntausenden von Amper in Betracht gezogen werden.

Weil der äußere Zylinderteil 106 hohl ist und symmetrisch den Spalt 115 umgibt, ist das Magnetfeld im Innern des zylindrischen Teils 106 beim Stromdurchgang im wesentlichen Null und es werden keine elektromechanischen Kräfte auf das Flüssigmetall in dem Spalt ausgeübt.

Zur Kontaktunterbrechung wird der Tauchzylinder 117 durch die Wirkung des pneumatischen Zylinders 120 angehoben und demzufolge fällt der Spiegel des flüssigen Metalls unter der Wirkung der Schwerkraft zurück in den Behälter 118. Daraus folgt, daß der Spalt zwischen dem flüssigen Metall und der festen Kontaktfläche ausreichend sein muß, um den Bogen zu unterbrechen und anschließend die angelegte Spannung zurückzuhalten. Die letztere kann größenordnungsmäßig 5 Volt betragen, während der Bogen- spannungsabfall im Spalt von der Größenordnung von 1 Volt je Millimeter sein kann.

Die Innenflächen der Kupferleiter 101, 102 können mit Molybdän, Wolfram oder Eisen überzogen sein, um sie gegen Bogen- und Erosionswirkungen zu schützen, wobei die untere Fläche des oberen Kontaktteils 104 einen wesentlich dickeren Überzug erhält, da diese Fläche beim Schließen und Öffnen des Kontakts am meisten vom Bogen erfaßt wird.

Um das stromführende flüssige Metall im Bereich des Spalts gegen die Wirkungen der magnetischen Streuflüsse abzuschirmen, die unerwünschte Instabilität hervorrufen können, kann der Schalter mit einem magnetischen Schirm 116 aus ferromagnetischem Material versehen sein, der die Region des Spalts umgibt. Speziell bei dem dargestellten Schalter ist dieser Schirm im Körper des Tauchkolbens 117 isoliert bzw. eingebettet, so daß bei geschlossenem Schalter der Schirm sich in einer Wirkstellung

um den Spalt 115 herum befindet und bei geöffnetem Schalter der Schirm eine unwirksame Stellung einnimmt, in der er den Spalt nicht mehr umgibt, so daß etwaige magnetische Streuflüsse das Ausblasen des Bogens unterstützen können.

Die Verwendung von flüssigem Gallium oder einer Legierung desselben mit einem oder mehreren weiteren Metallen, wie Indium, Zinn oder Zink, ist vorteilhafter als Quecksilber, das stattdessen als überbrückende Flüssigkeit verwendet werden kann, wegen ihres verhältnismäßig niedrigen Dampfdruckes, ihrer geringen Giftigkeit und der Fähigkeit von Gallium und seinen Legierungen, zu leiten und an Metallflächen zu haften, selbst bei Verunreinigung durch wesentliche Mengen von Oxyd. Auch sind die Kontaktflächen der Kontaktteile 106 und 107 ständig mit dem flüssigen Metall benetzt, und zu diesem Zweck bieten flüssiges Gallium und seine flüssigen Legierungen Vorteile gegenüber dem Quecksilber, wie oben beschrieben.

Der Schalter ist außerdem zweckmäßig mit Einrichtungen versehen (nicht dargestellt), um verbrauchtes flüssiges Metall abziehen und austauschen zu können und um das Innere des Schalters ausspülen zu können, ohne den Schalter freizulegen. Diese können eine verschließbare Einlaßöffnung aufweisen, durch die eine Spülflüssigkeit ins Innere des Schalters eingebracht werden kann, und durch die frisches Flüssigmetall eingefüllt werden kann, sowie einen Abzugstopfen zum Abführen von verbrauchtem Flüssigmetall aus dem Schalter und als Auslaß für Spülflüssigkeit.

Fig. 5 zeigt eine vierte Schalterausführung gemäß der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall ist jedoch ein massiver Kontakt beweglich, um ihn mit dem anderen in Eingriff zu bringen, so daß der Stromweg zu einem wesentlichen Teil durch feste Körper

verläuft, während er zugleich noch durch einen flüssigen Stoff geleitet wird.

Der Schalter umfaßt einen inneren massiven Kupferkontakt 125 von rundem Querschnitt, der dadurch festgehalten wird, daß er gegen eine Stromzuführungsplatte 128 gespannt ist. Ein zweites Kontaktgebilde weist eine feste Wand 132 auf, die zum inneren Kontakt 125 konzentrisch und an diesem durch einen ringförmigen Isolator 127 befestigt ist. Ein Absatz 139 der Wand 132 stößt gegen eine zweite feste Stromzuführungsplatte 131. Das zweite Kontaktgebilde schließt ferner einen beweglichen Kontakt 138 aus Kupfer ein, dessen Oberseite der Unterseite des inneren Kontakts 125 angepaßt ist. Dieser Kontaktkörper ist links und rechts von der Mittellinie in seiner äußersten offenen bzw. geschlossenen Stellung wiedergegeben. Er ist auf einer Platte 140 aus rostfreiem Stahl angebracht, an der ein biegsamer Balgen 136 aus rostfreiem Stahl, Titan oder anderem korrosionsfestem Material angeschweißt oder angelötet ist. Dieser Balgen ist seinerseits mit seinem oberen Ende an dem unteren Ende des Wandungskörpers 132 angeschweißt, so daß der Spalt zwischen dem inneren und äußeren Kontakt hermetisch abgedichtet ist.

Die Seitenwand des Kontaktkörpers 138 verjüngt sich zum oberen Ende hin, um sich der Neigung der entsprechenden Aufnahmebohrung im unteren Ende des Wandungskörpers 132 anzuschmiegen. Die Abmessungen sind so gewählt, daß der Kontaktkörper 138 zugleich gegen den inneren Kontakt 125 und den Wandungskörper 132 stößt. Die Neigung ist so flach, daß sie die Toleranzforderung für die doppelte Anlage erleichtert.

Wie im linken Teil der Fig. 5 ersichtlich, bildet der Zwischenraum zwischen dem Balgen 136 und dem beweglichen Kontaktkörper 138 einen Behälter, der mit einem flüssigen Metall 133, wie Gallium, Gallium-Indium oder Quecksilber gefüllt ist. Die vor-

erwähnten Stoffe werden aus den oben angegebenen Gründen bevorzugt.

Aus dem rechten Teil der Abbildung geht hervor, daß in der Schließstellung des Schalters der Stromweg zum Teil über die Berührungsstelle der Feststoffkontakte 125 und 138 verläuft, während ein paralleler Zweig das flüssige Metall 133 durchfließt.

Selbst bei der "direkten" Anlage der Kontakte 125 und 138 besteht dazwischen noch ein Film des flüssigen Metalls, um einen niedrigen Übergangswiderstand zu gewährleisten.

Eine gute Verbindung zwischen dem Wandungskörper 132 und der Stromzuführungsplatte 131 und ebenso zwischen dem inneren Kontaktkörper 125 und der Stromzuführungsplatte 128 wird durch Überziehen der entsprechenden Oberflächen mit dem flüssigen Metall gesichert.

Ein halbkreisförmiger Kanal 141 im Wandungskörper 132 umgibt diesen und läßt Kühlwasser zwischen den Leitungen 142 und 143 durchtreten.

Da das Innere des Schalters hermetisch abgedichtet ist, kann es mit einem inerten Gas gefüllt oder evakuiert werden, um das Flüssigmetall vor der Außenatmosphäre zu schützen.

Die Betätigung des Schalters kann durch einen pneumatischen Zylinder erfolgen, der zum Beispiel auf die Platte 140 einwirkt, um den Kontaktkörper 138 und den Flüssigmetall-Behälter aufwärts zu treiben. Wenn der Balgen zusammengedrückt wird, so spült das flüssige Metall über die Oberseite des Kontaktkörpers 138, um zu erreichen, daß die Anfangs- und Endberührung mit dem festen Kontakt 125 über eine Flüssigmetallbrücke erfolgt.

Der Festkörperkontakt bei dieser Ausführung ergibt einen viel höheren Grad an Stabilität, als er im Fall der Fig. 4 beispielsweise erhältlich ist, wo ein Teil des Stromwegs gänzlich flüssiges Metall ist.

Bei einer Abwandlung der Ausführung der Fig. 5 kann der innere Kontakt 125 einen aufrechten zylindrischen Fortsatz besitzen, um den die längs eines Durchmessers geteilte Platte 128 geklemmt ist. In diesem Fall kann der Kontakt 125 leichter mit Kühlkanälen versehen werden, die durch seine obere Fläche verlaufen.

Wiederum ist der Stromweg im Schalter, wie die Pfeile angeben, völlig symmetrisch und coaxial in Bezug auf den radialen Kontaktspalt 134. Somit ergibt sich, daß, obwohl der Stromdurchgang durch den geschlossenen Schalter eine elektromechanische Kraft auf das stromführende flüssige Metall im Spalt erzeugt, die abwärts wirkend das Metall daraus zu vertreiben sucht, diese Kraft völlig symmetrisch in Bezug auf den Spalt ist. Weil aber das flüssige Metall in dem Spalt mechanisch eingeschlossen ist durch den abgedichteten Behälter, wird daher diese Kraft nicht eine unerwünschte Unbeständigkeit des flüssigen Metalls in dem Spalt 134 erzeugen.

Wie mit Bezug auf die Schalterausführung in Fig. 4 beschrieben, kann eine Magnetflußabschirmung aus ferromagnetischem Stoff vorgesehen sein, um das stromführende flüssige Metall in dem Spalt 134 gegen die Einwirkung von magnetischen Streuflüssen abzuschirmen, die außerhalb des Schalters erzeugt werden. Diese Abschirmung kann ständig feststehend in einer Arbeitsstellung um den Spalt 134 herum angeordnet oder aber unabhängig oder in Verbindung mit der Bewegung des Behälters 135 in die und aus der Arbeitsstellung bewegbar sein. Im letzteren Fall

kann die Abschirmung am Behälter 135 befestigt und mit diesem bewegbar sein oder mit dem Behälter durch mechanische Organe derart gekoppelt sein, daß ihre Bewegung verstärkt wird, wenn der Hub des Behälters nicht ausreicht.

Wie bei der Ausführungsform nach Fig. 4 können die entsprechenden Innenflächen der Leiter 125, 126 mit Wolfram, Molybdän oder Eisen bekleidet sein, um sie gegen die Wirkungen von Bogenbildung oder Erosion zu schützen, und außerdem ständig mit einem Überzug von flüssigem Metall, beispielsweise von flüssigem Gallium-Indium, auf eine oben beschriebene Weise benetzt sein, um den Kontaktwiderstand herabzusetzen und die Standdauer des Kontakts zu erhöhen.

Bei einer abgewandelten Ausführungsform kann der Balgen durch eine Gleitdichtung zwischen einem das flüssige Metall enthaltenen Behälter und der Außenfläche der Wandung 132 ersetzt sein. Um die oben erwähnte Magnetflußabschirmung einzubeziehen, kann der Behälter alsdann aus einem ferromagnetischem Material bestehen oder einen Körper aus ferromagnetischem Material tragen, der den Bereich des Spalts umgibt, wenn der Schalter geschlossen ist, dagegen beim Öffnen des Schalters aus dieser Stellung herausbewegt wird. Jedoch wird die Verwendung eines Balgens, wie er in Fig. 5 dargestellt ist, bevorzugt, da Gleitdichtungen bei längerer Gebrauchsdauer der Abnutzung und Gasdiffusion unterliegen.

Bei einer Abwandlung dieser Ausführung mit bewegtem Behälter kann das Schließen des Kontaktspalts gänzlich auf einer Überbrückung durch flüssiges Metall beruhen, das heißt, das Kontaktglied 138 bleibt kurz vor der Berührung mit dem feststehenden Kontakt 125 stehen. Die Stabilität bzw. Beständigkeit des Arbeitens beruht dann lediglich auf der symmetrischen Konzentrität der Konstruktion.

Die Erfindung umfaßt ferner automatische elektrische Ausschaltvorrichtungen, bei denen flüssiges Metall den Spalt überbrückt und dadurch elektrischen Kontakt zwischen zwei im Abstand angeordneten stromführenden Leitern herstellt und der Stromweg durch die Vorrichtung so angelegt ist, daß die elektromechanischen Kräfte, die durch einen Strom über einer vorbestimmten Stärke erzeugt werden, das flüssige Metall aus dem Spalt verdrängen und so den Kontakt zwischen den Leitern unterbrechen.

Bei einer derartigen Anordnung kann die Größe des Spalts so bemessen sein, daß unter normalen Bedingungen das flüssige Metall in dem Spalt durch Oberflächenspannung zurückgehalten wird, jedoch bei Überlastung die auf das flüssige Metall einwirkenden elektromechanischen Kräfte größer als die Oberflächenspannungskräfte sind, so daß das flüssige Metall aus dem Spalt ausgeblasen und der Kontakt so unterbrochen wird.

In Fig. 6 ist eine Ausführungsform einer automatischen elektrischen Ausschaltvorrichtung dargestellt. Ein erster Kontaktkörper 145 weist einen Behälter 146 mit Flüssigmetall 147 auf. Feststehend in Bezug auf diesen Behälter und in Kontakt mit dem flüssigen Metall, das wiederum Quecksilber, Gallium oder Gallium-Indium-Legierung mit größerem Vorteil sein kann, ist ein zweiter Kontaktkörper 148 angeordnet. Der normale Stromweg ist durch die Pfeile angedeutet.

Doch wird durch die fehlende Konzentrizität der Anordnung eine seitliche Kraft auf das flüssige Metall nach rechts in der Zeichnung hervorgerufen. Die Wand des Behälters auf dieser Seite ist verhältnismäßig niedrig und bildet ein Wehr 149, das den Behälter 146 von einer Überlaufwanne trennt. Bei ausreichender Stromstärke wird das flüssige Metall über das Wehr getrieben und so der Kontakt zwischen den beiden Kontaktkörpern 145 und 148 unterbrochen. Die zur Betätigung der Vorrichtung notwendige Stromstärke kann durch Regelung der Eintauchtiefe

des Kontaktkörpers 148 in das flüssige Metall eingestellt werden. Der Spalt zwischen den Kontakten, der beim Austreiben des flüssigen Metalls entsteht, muß natürlich ausreichend groß sein, um einen etwa entstehenden Bogen zu unterdrücken und die angelegte Spannung abzuhalten, wie bereits oben erwähnt ist.

2652506

- 31 -

Nummer:
Int. Cl.2:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

26 52 506
H 01 H 1/08
18. November 1976
24. Mai 1978

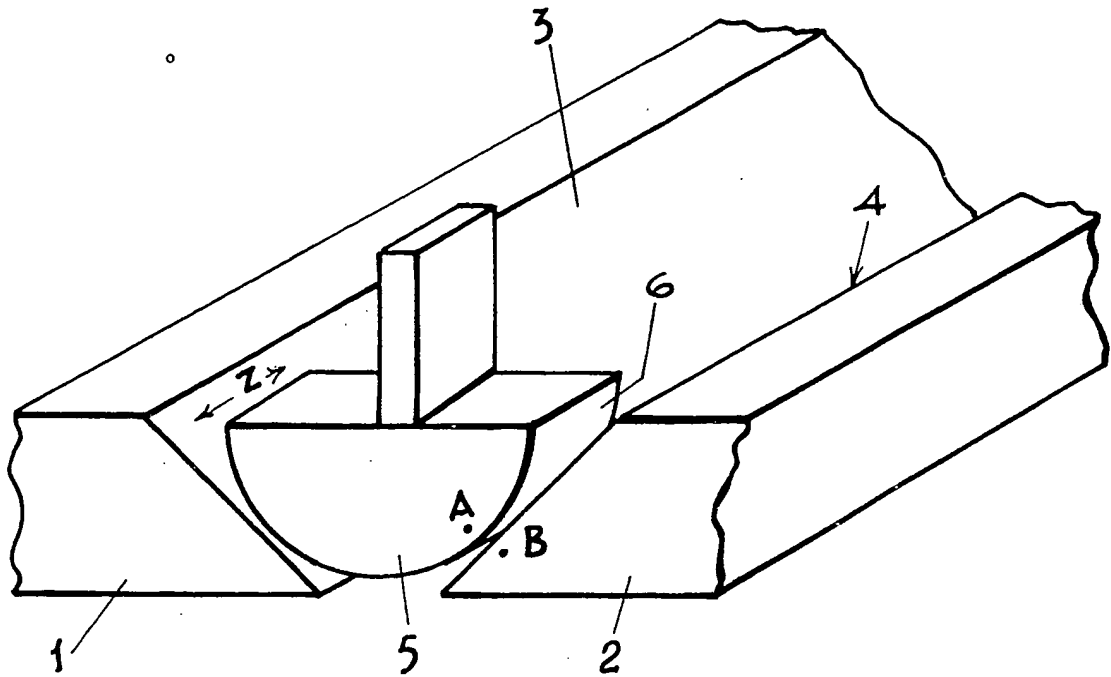


FIG. 1.

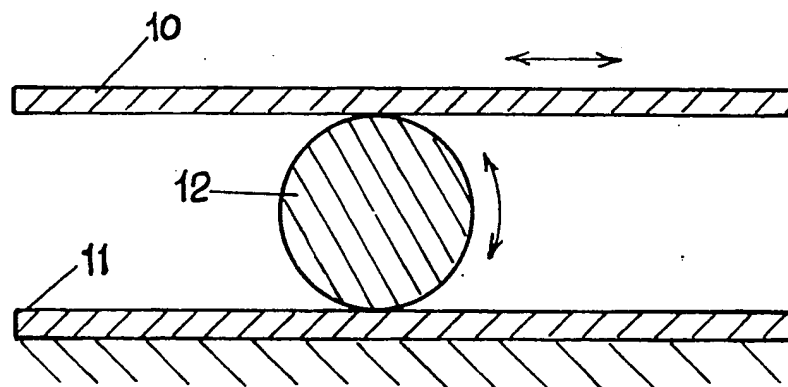


FIG. 2.

809821/0177

Rei 862.6

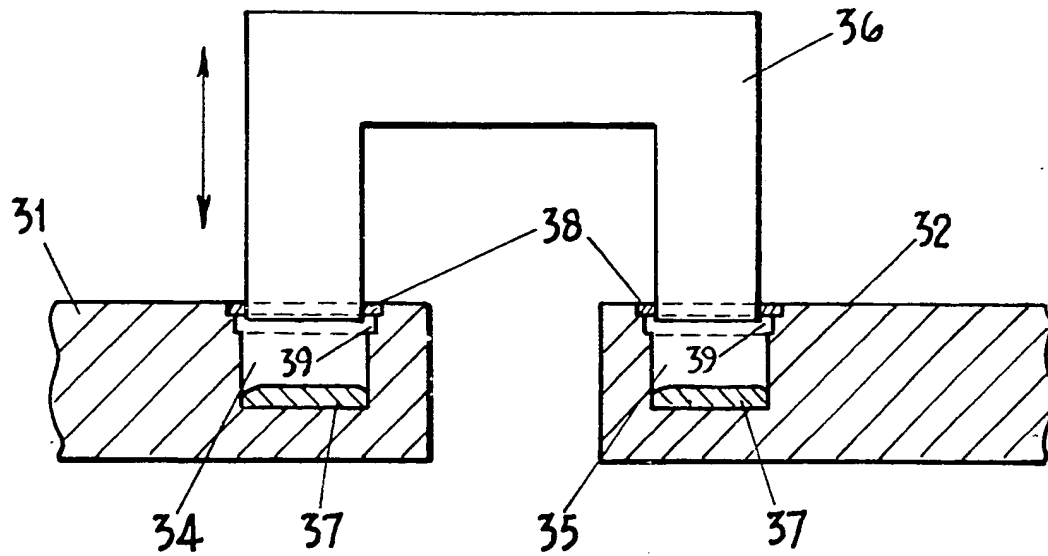


FIG. 3.

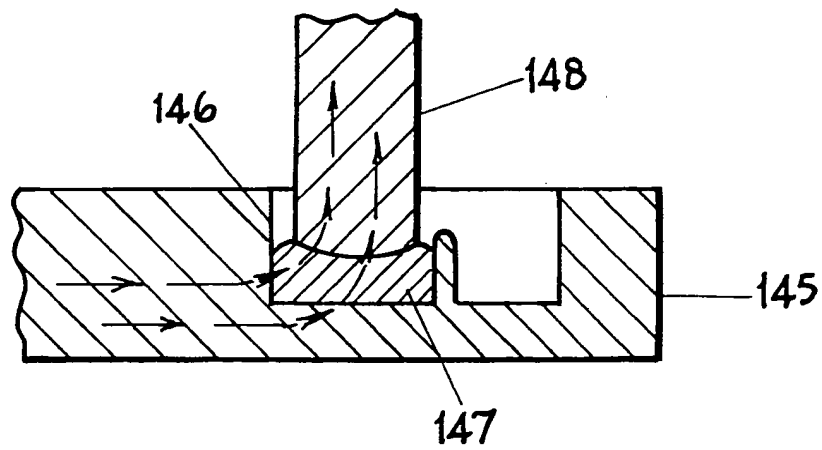


FIG. 6.



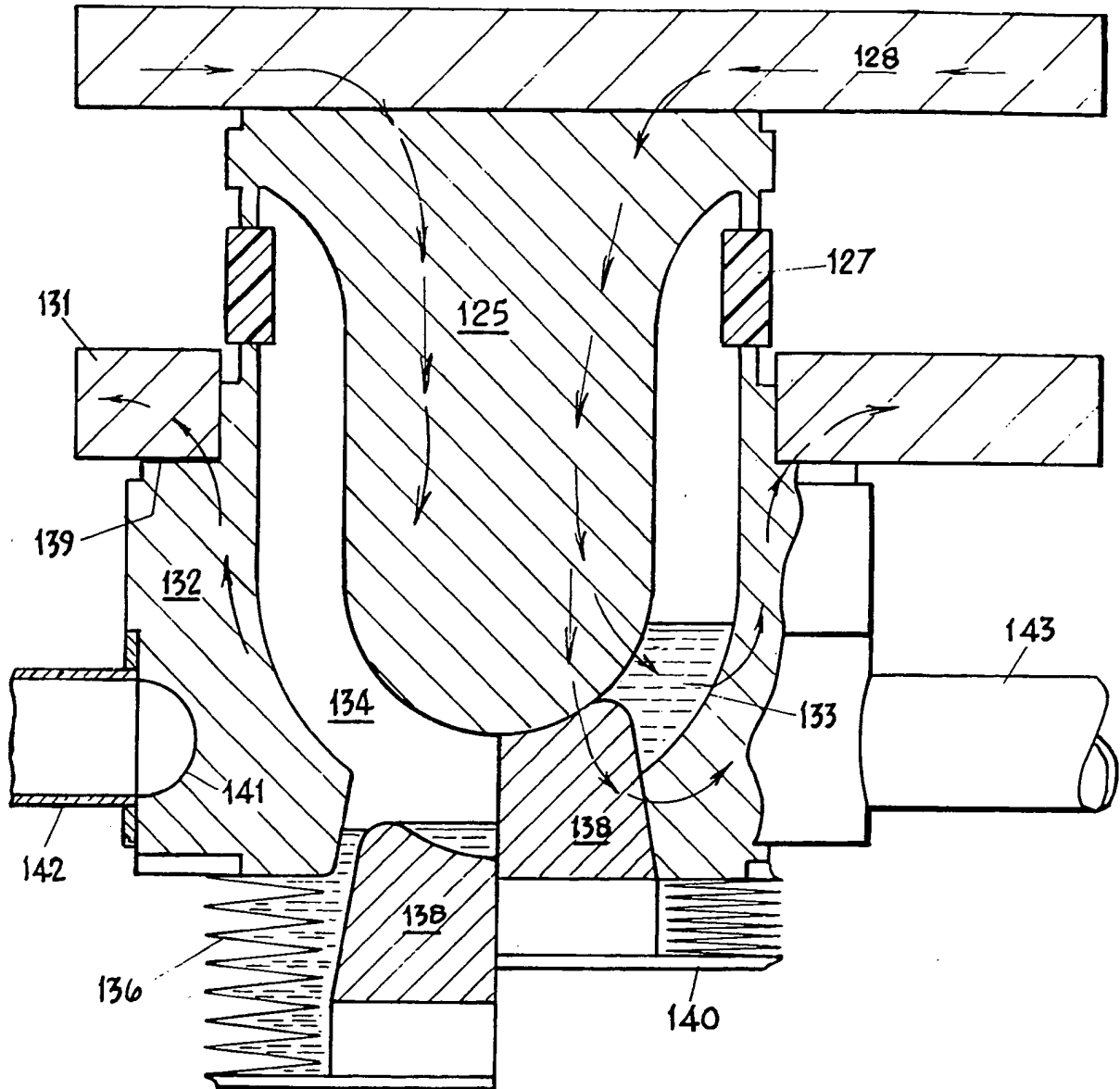


FIG.5.